

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 特 許 公 報 (B 2)

(11) 特許番号

第2581820号

(45) 発行日 平成 9 年 (1997) 2 月 12 日

(24) 登録日 平成 8 年 (1996) 11 月 21 日

(51) Int. Cl.<sup>6</sup>

G 0 1 L 5/16

識別記号

庁内整理番号

F I

G 0 1 L 5/16

技術表示箇所

請求項の数 1 (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願平2-13007

(22) 出願日 平成 2 年 (1990) 1 月 23 日

(65) 公開番号 特開平3-216529

(43) 公開日 平成 3 年 (1991) 9 月 24 日

(73) 特許権者 999999999

株式会社富士電機総合研究所

神奈川県横須賀市長坂 2 丁目 2 番 1 号

(72) 発明者 佐々木 修

神奈川県横須賀市長坂 2 丁目 2 番 1 号

株式会社富士電機総合研究所内

(74) 代理人 弁理士 山口 巖

審査官 山川 雅也

(54) 【発明の名称】 3次元触覚センサ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 薄肉部の周囲に連続又は離散的に該薄肉部より厚い厚肉部が取り巻くダイヤフラム膜構造と、該ダイヤフラム膜構造のうち少なくとも前記薄肉部の表面に設けられたひずみゲージと、前記薄肉部の裏面から一体的に突出し前記厚肉部の厚さに比して長い揺動可能な杆部とを備えた 3 次元触覚センサにおいて、前記薄肉部のほぼ中央に該薄肉部より厚く前記杆部より薄い中心厚肉部を有し、前記杆部は複数であり、該杆部が前記中心厚肉部の周りを離散的に取り巻いていることを特徴とする 3 次元触覚センサ。

【発明の詳細な説明】

【産業上の利用分野】

本発明は、産業用ロボットなどの手や圧力の面内分布の検出に用いられるピエゾ抵抗効果を利用した半導体触

覚センサに関し、特に、接触力の成分が検出可能な 3 次元触覚センサに関する。

【従来の技術】

従来の触覚センサの一例としては、第 12 図及び第 13 図に示すように、裏面が基板等の台座に固定されるリング状の突起部からなる厚肉部 1 と、この内側に一体的に張設された薄肉部 2 と、薄肉部 2 の表面に設けられたブリッジ回路を構成するひずみゲージ（拡張抵抗）3a～3d とを備える構造のものが知られている。

この触覚センサは圧力センサとしても用いられるが、その動作原理は、表面に接触力が加わると、ダイヤフラム膜構造の薄肉部 2 がたわむことにより、ひずみゲージ 3a～3d 自体に引張ひずみ又は圧縮ひずみが発生し、その応力変化をピエゾ抵抗効果による抵抗値変化として検出するものである。そして、上記触覚センサの実装構造

3

は、第14図に示すように、厚肉部1を固定する基板4と、薄肉部2の表面に固着された接触力伝達部材としてのメサ部材5と、その表面に接着剤6を以て固定された受圧板7、受圧板7を覆う弾性膜8とを備えている。

しかしながら、上記触覚センサにあっては次の問題点がある。

薄肉部2の表面に接触力が加わると、薄肉部2の表面中央が最大たわみを持ち、その中央部分には引張りひずみが発生すると共に、周端部分には圧縮ひずみが発生するが、薄肉部2表面に接する方向の力成分に対して薄肉部2の敏感な変形が生じにくく、専ら薄肉部2の表面の垂直方向の力成分に対してたわみ変形が生じるものであるから、1次元触覚には適するものの、3次元接触力を検知すること不可能である。

薄肉部2に接触力を伝達すべきメサ部材5は薄肉部2表面に半田付け等により固着されているが、その固着処理の結果、その固着接合面に熱膨張率の違いによって残留応力が発生し、これがブリッジ回路の出力たる不平衡電圧の温度特性の悪化原因となる。

また、薄肉部2表面とメサ部材5の接合面には、それに接する方向に作用する接触力成分がせん断力として作用するので、永年使用等や衝撃的なせん断力が作用した場合には、疲労または衝撃応力の発生により接合面の劣化が著しくなり、耐久性ないし信頼性に乏しい。

更に、上記の各原因から、上記触覚センサは素子毎の特性バラツキが大きいので、各素子の動作点データを予め校正用ROMに記憶させておき、使用の際には、動作点データに基づいて各素子からの不平衡電圧値に校正を施す必要がある。そのため、素子数の増大に伴ってROMの記憶容量の増設や校正制御の複雑化を招来する。

そこで、上記の各問題点を解決する3次元触覚センサとして、第6図、第7図に示す構成のものが、提案されている。第6図はその平面図、第7図は第6図中のC-C'線に沿って切断した断面図である。

この3次元触覚センサは半導体センサで、方形のシリコン基板10の中央部に円形に形取られた薄肉部11と、薄肉部11の円周に沿ってこれを連続的に取り巻くリング状の突起部からなる厚肉部12と、薄肉部11の中央において一体的に裏面から突出した円柱状杆部13とから大略構成されている。ここで、薄肉部11の厚さを $t_1$ 、厚肉部12の厚さを $t_2$ 、円柱状杆部13の厚さ（長さ）を $t_3$ とすると、 $t_1 < t_2 < t_3$  …… (1) の関係式が成立している。

この円柱状杆部13の厚さ（長さ） $t_3$ は、それ自身の重心Pと薄肉部11の付け根面Sとの距離を大きくとるため、即ち、モーメントの腕の長さを長くするため、厚肉部12の厚さ $t_2$ に比して長くしてある。勿論、この長さ $t_3$ は半導体ウエハの厚さが最大限となる。この円柱状杆部13を長く突出させる理由は、より鋭敏に円柱状杆13自体をその付け根面Sに対して揺動可能とするためである。

4

円柱状杆部13が比較的細い場合はそれ自体の曲げが生じ易く、またそれが長すぎるとテコ作用が大きくなりすぎて付け根面Sにせん断が衝撃的に発生するおそれが大きくなるから、円柱状杆部13の太さ及び長さを最適値に設定することが望ましい。

薄肉部11の表面側には3つのホイーストンブリッジ回路を構成するひずみゲージが設けられている。薄肉部11又は杆部13との境界に跨がって形成されたひずみゲージ14a、14b、14c、14dは図示X軸方向の接触力成分を検出するホイーストンブリッジ回路（第8図（a）参照）を構成している。なお、第6図及び第7図中では回路配線は省略してある。また、ひずみゲージ15a、15b、15c、15d（第8図（b）参照）は、図示Y軸方向の接触力成分を検出するホイーストンブリッジ回路を構成し、更に、ひずみゲージ16a、16b、16c、16d（第8図（c）参照）は図示Z軸方向の接触力成分を検出するホイーストンブリッジ回路である。なお、第8図中の符号17は電圧源を示す。

この3次元触覚センサは、まずシリコン基板10上にそれと逆導電型半導体のひずみゲージ（拡散抵抗）14a～14d、15a～15d、16a～16dを形成した後、アルミニウム薄膜などによりホイーストンブリッジ回路の配線を施し、その表面を保護膜で被覆する。次にシリコン基板10の裏面の杆部13の端面とすべき領域のみを窒化膜などでマスクし、弗酸系エッチング液などで第1のエッチングを施す。この際、厚肉部12の端面とすべきレベルまでエッチングが行われたら、そのエッチングを止める。次に、その厚肉部12の端面とすべき領域も窒化膜などでマスクし、第2のエッチングを施す。この際、薄肉部11の裏面とすべきレベルまでエッチングが行われたら、そのエッチングを止める。

このようにして製造された3次元触覚センサの実装構造としては、第9図に示すように、凹所20aを備えた基板20が用いられ、その凹所20aに薄肉部11表面のひずみゲージ設置領域を臨ませて厚肉部12表面の周縁側を固着し、円柱状杆部13の端面を接着剤21を以て受圧板22に固定し、その受圧板22を弾性膜23でコーティングしたものである。

受圧板22を介して印加される接触力は、杆部13のスラスト方向（Z軸方向）とラジアル方向（X-Y軸方向）の成分に分解できるが、第11図（a）のように、スラスト方向の接触力が杆部13の端面に加わると、従来の触覚センサと同様に、薄肉部11はたわみ変形を起こす。このたわみ変形はZ軸用のブリッジ回路を構成するひずみゲージ16a～16dの伸縮ひずみを惹起させるから、これによりスラスト方向への接触の有無又はその値が検出されることになる。ラジアル方向の接触力が杆部13の端面に加わると、杆部13の付け根面Sを回転させるモーメントが薄肉部11に作用するので、薄肉部11は第11図（b）に示す如く曲げ変形を起こす。かかる場合、軸線1と薄肉部

5

11の表面との交点(中心)Oが節点となり、これを境に薄肉部11の表面の一方が上に凸の曲げ変形で他方が下に凸の曲げ変形が引き起こされる。この曲げ変形によってX軸及びY軸用のブリッジ回路を構成するひずみゲージ14a~14d、15a~15dが伸縮するので、ラジアル方向の接触力の有無又はその値が検出されることになる。勿論、X軸用ブリッジ回路とY軸用ブリッジ回路の不均衡電圧値を比較することにより接触力のX、Y成分を夫々個別に検出できる。

なお、杆部13が回動しすぎると、これが厚肉部12の端面に当接するので、杆部13自体がストッパーの機能を有している。弾性限界内での回動等を確実にするために、杆部13の端部を拡径状に形成したり、厚肉部12の端部側に突起状のストッパ部を付設しても良い。

第9図に示す3次元触覚センサの実装構造においては、従来のメサ部材を用いずに、厚肉部11よりも突出した杆部13を介して触押し力が薄肉部11へ伝達される。このため、薄肉部11の表面が非接触状態に維持されているので、従来の如く接合面固着による残留応力などに起因する不均衡電圧の温度特性悪化の問題や表面劣化の問題が完全に解消される。したがって、実装上において生じるセンサ素子毎の特性バラツキが軽減されることになるから、各素子毎の不均衡電圧に校正を施す必要がなく、校正用ROM等の不要化と共に多数配置の触覚センサを安価に提供できる。

第10図は上記3次元触覚センサの別の実装構造を示す断面図である。この実装構造においては、杆部13の端部を基板20の嵌合窪みに嵌合して接着剤24を以て固定し、カップ状の受圧板25の周壁25a内に厚肉部12を挿入固着し、受圧板25上に弾性膜23を被覆したものである。かかる実装構造によれば、接触力が印加されると、杆部13はほぼ不動軸であるが、これに対して薄肉部11及び厚肉部12が相対的に第11図示の如くと同様に變形し、同様の3次元検出が可能である。

〔発明が解決しようとする課題〕

しかしながら、第6図、第7図に基本構成を示した3次元触覚センサは、3次元触覚センサ1素子当たり、X軸、Y軸、Z軸の各方向に対して、それぞれ1組のセンサしか備えていない。よって、圧力を感じる減圧点の数を、素子の数以上にすることができない。このため、測定対象物体によってもたらされる接触力を、高密度で検出できないという問題がある。さらに、実装上各素子間の間隔には下限があるので、測定対象物体が動くものである場合には、その動きを、感度よく検出したいという問題もある。

そこで、本発明は上記問題点を解決するものであり、その目的は、薄肉部に作用する3次元接触力に対して各成分力に呼応する変形を薄肉部に比較的敏感に発生させることにより、接触力の3次元検出を可能とするとともに、例えば測定対象物体が動いた場合でも、その動きの感

6

度の高い3次元検出を可能とし、しかも実装段階において薄肉部表面にメサ部材の固着を必要としない構造を採用することにより、素子毎の特性バラツキが低減した3次元触覚センサを提供することにある。

〔課題を解決するための手段〕

上記目的を達成するために、本発明によれば、薄肉部の周囲に連続又は離散的に該薄肉部より厚い厚肉部が取り巻くダイヤフラム膜構造と、該ダイヤフラム膜構造のうち少なくとも前記薄肉部の表面に設けられたひずみゲージと、前記薄肉部の裏面から一体的に突出し前記厚肉部の厚さに比して長い揺動可能の杆部とを備えた3次元触覚センサにおいて、前記薄肉部のほぼ中央に該薄肉部より厚く前記杆部より薄い中心厚肉部を有し、前記杆部は複数であり、該杆部が前記中心厚肉部の周りを離散的に取り巻いてなるものとする。

〔作用〕

かかる手段によれば、前記第6図、第7図に示した3次元触覚センサにおける、

① 薄肉部の裏面から一体的に突出した揺動可能の杆部を受圧部とし、厚肉部の表面を台座に固着した実装構造を採用することにより、杆部スラスト方向の接触力に対しては薄肉部が通常のたわみ変形を起こすが、杆ラジアル方向の接触力成分が印加されると、杆部はそれ自身の付け根部分を基点として比較的敏感に回動するので、これにより杆部の付け根を節点とした薄肉部の曲げ変形が発生し、これが上記たわみ変形に重畳される。それ故、たわみ変形によるひずみゲージの伸縮量と曲げ変形によるひずみゲージの伸縮量が独立又は加重的に感度良く生じることとなり、スラスト方向及びラジアル方向の接触力成分の検出、即ち1素子3次元触覚が実現される、

② 揺動可能の杆部を受圧部とする代わりに、これを基板等の台座に固着すると共に、厚肉部周端を受圧部とすると、厚肉部がほぼ不動の杆部の付け根付近に対して回動する。かかる実装構造においても上記①の構造と相対的に同様の機能を奏することとなる、

③ 上記の厚肉部の厚さに比して長い杆部の存在は、それ自身を受圧部とするも固定部とするも、薄肉部表面に接触力伝達部材たるメサ部材の固着を不必要とした実装構造を提供する。かかる実装構造の利益は、従来構造において問題となった不均衡電圧の温度特性の悪化や接合面劣化による耐久性、信頼性の低さを排除する。またその派生的利益として各素子毎の特性バラツキの問題を軽減するので、素子毎の不均衡電圧に校正を加える後処理を不要とし得る、

という作用を生じるとともに、さらに加えて、

④ 杆部を、中心厚肉部を取り巻いて複数個配置することにより、3次元触覚センサ1素子内に、X軸、Y軸、Z軸の各方向に対して、少なくともそれぞれ2組以上のセンサが配置される。よって1素子当たりの圧力を感じる感圧点の数を、少なくとも2以上に増すことができる、

という作用を生じる。

#### 〔実施例〕

本発明の実施例を、図面に基づいて詳細に説明する。

第 1 図は本発明の実施例に係る 3 次元触覚センサを示す平面図、第 2 図は第 1 図中の A-A' 線に沿って切断した断面図である。

この実施例は、リング状の突起部からなる厚肉部 12 と中央の薄肉部 11 とのダイヤフラム膜構造において、薄肉部 11 の中央部には厚肉部 12 の厚さと等しい中心厚肉部 32 を有し、またこの中心厚肉部 32 と厚肉部 12 との間に画成された薄肉部 11 には、その裏面から一体的に突出し、互いに離散的に中心厚肉部 32 を取り巻く 8 本の断面略扇状の杆部 33a~33h が形成されている。そして、薄肉部 11 の表面には中心から放射方向にひずみゲージ 35 が設けられている。

本実施例においては各杆部には 1 対 1 に対応するホイーストブリッジ回路を構成する 4 つのひずみゲージ 35 が配置されており、各ブリッジ回路の出力たる不平衡電圧を総合的に比較することにより、3 次元接触力の検出が行われる。この実施例における杆部 33a~33h は接触力により揺動され、その付け根付近の薄肉部 11 のみを局部的に曲げ変形させる。

この第 1 図、第 2 図に示した実施例においては、X 軸方向、Y 軸方向のセンサがそれぞれ 2 組、Z 軸方向のセンサが 4 組、組込まれている。即ち第 1 図において、図の上から下に向かって縦に 8 個並んだひずみゲージ 35 のうち、上 4 個が第 1 組目の X 軸方向のセンサを、下 4 個が第 2 組目の X 軸方向のセンサを、それぞれ構成している。前述の第 6 図の 3 次元触覚センサにおいては、3 次元触覚センサ 1 素子当たり、各軸方向に対し、1 組のセンサしか組込めないため、圧力を感じる感圧点の数は素子の数に等しい。これに対し、本発明では、上記のように、例えば X 軸方向について 2 組のセンサを組込むことができるので、1 素子当たりの感圧点の数が多くなり、接触力の検出が高密度なものとなる。さらに、測定対象物体が動いたとき、第 6 図の 3 次元触覚センサにおいては、その動き、即ちいわゆる「すべり」を、隣の素子での検出データと比較することにより検知していたのに対し、本発明によれば、3 次元触覚センサ 1 素子内において、このすべりを感度よく検知測定することができ、場合によっては素子の実装数を少なくすることも可能となる。

本実施例になる 3 次元触覚センサは、第 9 図、第 10 図で説明したのと同様に、杆部 33a~33h を受圧部としても固定部としても実装することができる。

第 3 図ないし第 5 図に、本発明の第 2 の実施例になる 3 次元触覚センサを示す。第 3 図は平面図、第 4 図は第 3 図中の B-B' 線に沿って切断した断面図、第 5 図 (a)、(b)、(c) は第 3 図中のひずみゲージによって構成されるホイーストブリッジ回路を示す図であ

る。

この実施例は、第 3 図に示すように、厚肉部 12 と中央の薄肉部 11 とのダイヤフラム膜構造において、薄肉部 11 の中央部には厚肉部 12 の厚さと等しい中心厚肉部 32 を有し、またこの中心厚肉部 32 と厚肉部 12 との間に画成された薄肉部 11 には、その裏面から一体的に突出し、互いに離散的に中心厚肉部 32 を取り巻く 8 本の円柱状の杆部 41a~41h が形成されている。さらに、杆部 41a~41h それぞれに対し、X 軸方向のセンサであるひずみゲージ 44a、44b、Y 軸方向のセンサであるひずみゲージ 45a、45b、Z 軸方向のセンサであるひずみゲージ 46a、46b が設けられている（尚、41a 以外の杆部に設けられているひずみゲージについては、簡単のためその図示を省略してある。）。

各杆部 41a~41h とその周りの薄肉部 11 は実質的に第 6 図に示すセンサに対応しており、したがって、上記センサは触手の如く単一の杆部を有する 8 個の触覚細胞領域に区分けされており、各杆部毎に 3 次元触覚を検出することが可能である。即ち、本実施例においては、3 次元触覚センサ 1 素子に、それぞれ 8 組の X 軸、Y 軸、Z 軸方向センサが組込まれることになる。

第 5 図に、各軸方向のセンサを構成するホイーストブリッジ回路を示す。図において 50 は固定抵抗であり、接触力の有無によってその抵抗値は変化しない。第 3 図、第 4 図において、この固定抵抗 50 の図示は省略してあるが、固定抵抗 50 は、ブリッジ回路を構成するために必要なものであって、ひずみを生じない中心厚肉部 32 もしくは厚肉部 12 上のどこに形成しても配線可能である。

この第 3 図ないし第 5 図に示す実施例では、一つの軸方向の力を検出するひずみゲージが 2 個（例えば X 軸方向の場合 44a、44b の 2 個）なので、第 5 図の出力電圧  $V_{ox}$ 、 $V_{oy}$ 、 $V_{oz}$  は、同じ接触力が加わっても、第 8 図に示す出力電圧  $V_{ox}$ 、 $V_{oy}$ 、 $V_{oz}$  の半分の値となる。従って、出力に誤差が含まれている場合には、出力電圧の精度は多少低下する。しかしながら本実施例においては、上記したようにそれぞれ 8 組の X 軸、Y 軸、Z 軸方向のセンサが組込まれているので、上記第 1 図、第 2 図に示した実施例以上に 1 素子当たりの感圧点の数が多く、接触力をより高密度に検出できるものであり、さらに測定対象物体が動く場合にも、その動きを 1 個の素子内でより感度よくセンシングすることができるものであり、出力電圧精度の低下を補償して余りある効果を奏する。

なお、上記各実施例において厚肉部 12 は連続した突起部として形成されているが、薄肉部 11 の周りに離散的に取り巻く複数個の突起部であっても良い。

#### 〔発明の効果〕

以上説明したように、本発明によれば、薄肉部の周囲に連続又は離散的に薄肉部より厚い厚肉部が取り巻くダイヤフラム膜構造と、このダイヤフラム膜構造のうち少なくとも薄肉部の表面に設けられたひずみゲージと、薄

肉部の裏面から一体的に突出し厚肉部の厚さに比して長い揺動可能な杆部とを備えた3次元触覚センサにおいて、薄肉部のほぼ中央に薄肉部より厚く杆部より薄い中心厚肉部を有し、杆部は複数であり、この杆部が中心厚肉部の周りを離散的に取り巻いてなる構成としたので、次の効果を奏する。

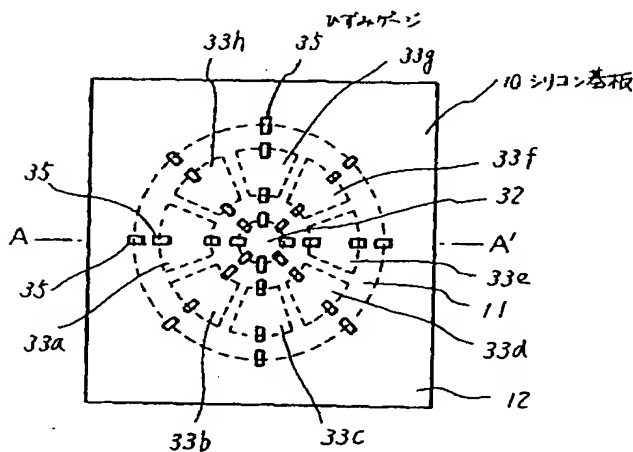
① 接触力が印加すると、薄肉部がたわみ変形を起こすばかりか、接触力の印加向きによっては杆部が揺動回転され、そのテコ作用により倍力的に薄肉部が曲げ変形を引き起こすので、各3次元軸専用のひずみゲージ又は各不平衡電圧の総合的比較処理によって、3次元触覚が実現される。

② 3次元触覚センサ1素子当たり、X軸、Y軸、Z軸方向に対し、それぞれ少なくとも2組以上のセンサを組込むことができるので、1素子当たりの圧力を感じる感圧点の数が増加し、接触力を高密度に検出することが可能となる。さらに、測定対象物体が動くものである場合においても、その動きを1個の素子内で感度よく検出することも可能となる。

③ 杆部自体が受圧部又は固定部となるから、センサの実装構造においてはひずみゲージを配置した薄肉部表面が自由端のまま維持されるので、従来において問題となった不平衡電圧の温度特性の悪化や永年使用等に伴う接合面劣化による耐久性・信頼性の低さが解消でき、それ故、実装上の素子毎の特性バラツキの問題がなくなるので、各不平衡電圧の校正処理が不要となる。したがって多数の素子を広い面積に実装配置することが容易で、実装コストの低減に寄与する。

【図面の簡単な説明】

【第1図】



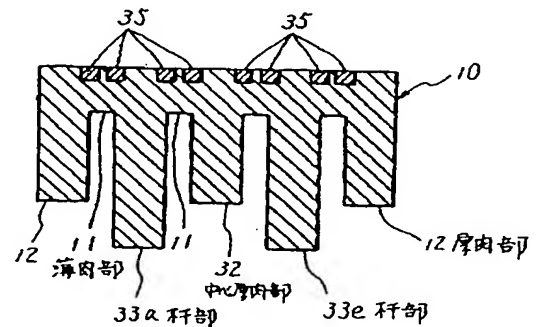
第1図は本発明の実施例に係る3次元触覚センサを示す平面図、第2図は第1図中のA-A'線に沿って切断した断面図、第3図は本発明の異なる実施例に係る3次元触覚センサを示す平面図、第4図は第3図中のB-B'線に沿って切断した断面図、第5図(a)、(b)、

(c)は同上実施例において設けられたひずみゲージおよび固定抵抗によるX軸ホイーストブリッジ回路、Y軸ホイーストブリッジ回路、Z軸ホイーストブリッジ回路を夫々示す回路図、第6図は先に提案されている3次元触覚センサを示す平面図、第7図は第6図中のC-C'線に沿って切断した断面図、第8図(a)、

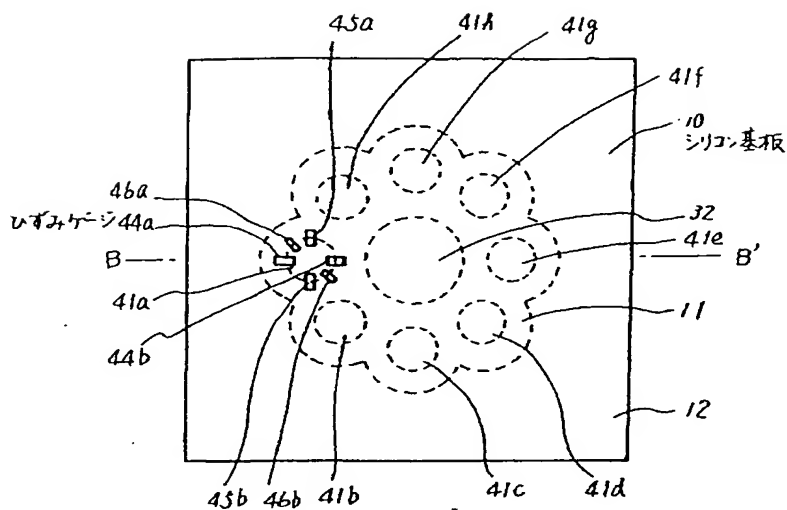
(b)、(c)は第6図、第7図の3次元触覚センサにおいて設けられたひずみゲージによるX軸ホイーストブリッジ回路、Y軸ホイーストブリッジ回路、Z軸ホイーストブリッジ回路を夫々示す回路図、第9図は第6図、第7図の3次元触覚センサの実装構造を示す断面図、第10図は第6図、第7図の3次元触覚センサの別の実装構造を示す断面図、第11図(a)、(b)は第6図、第7図の3次元触覚センサの作動状態を夫々示す模式図、第12図は従来の触覚センサの一例を示す平面図、第13図は第12図中のD-D'線に沿って切断した断面図、第14図は同上従来例の実装構造を示す断面図である。

10:シリコン基板、11:薄肉部、12:厚肉部、13、33a~33h、41a~41h:杆部、14a~14d、15a~15d、16a~16d、25、35、44a、44b、45a、45b、46a、46b:ひずみゲージ、20:基板、2a:凹所、21、24:接着剤、22、25:受圧板、23:弾性膜、25a:周壁、32:中心厚肉部、50:固定抵抗。

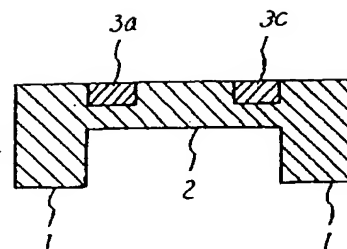
【第2図】



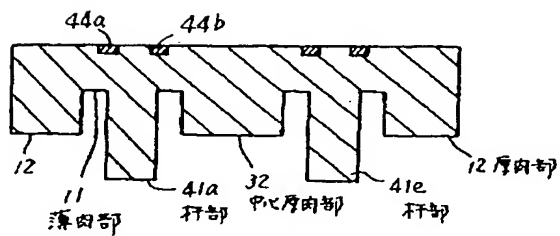
【第3図】



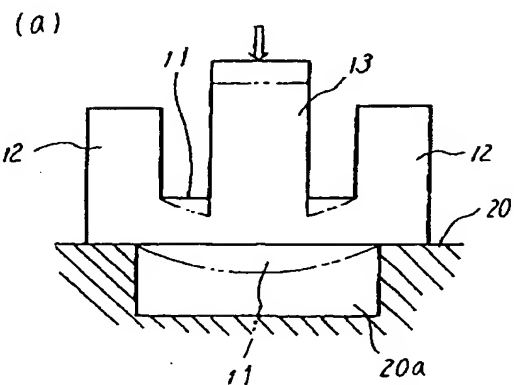
【第13図】



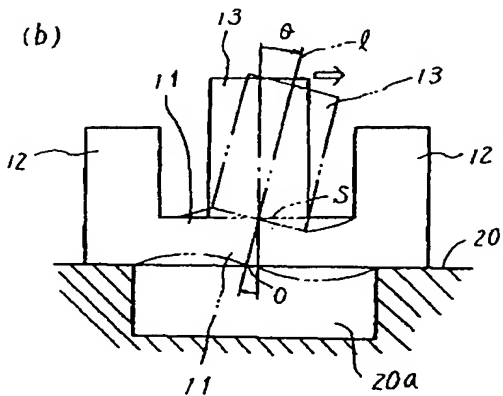
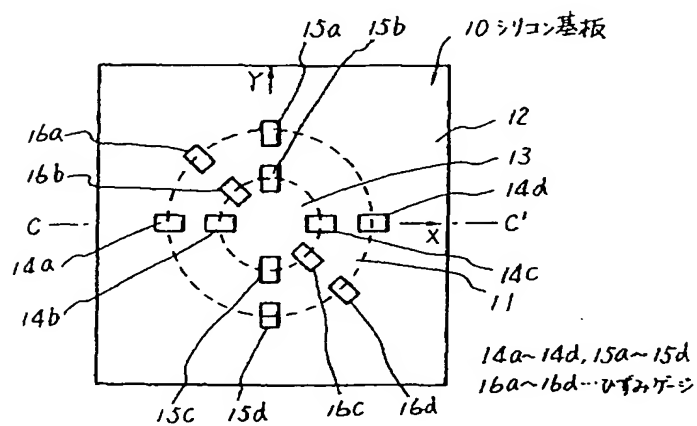
【第4図】



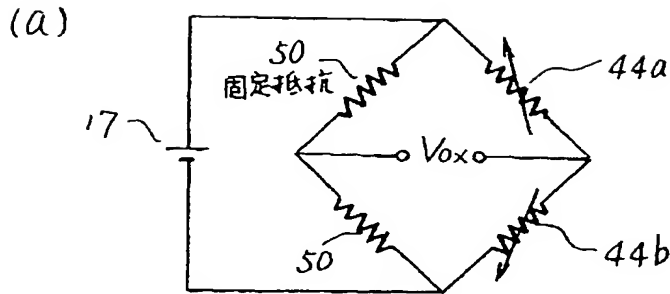
【第11図】



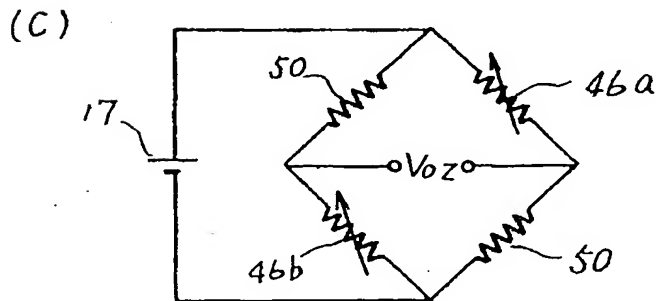
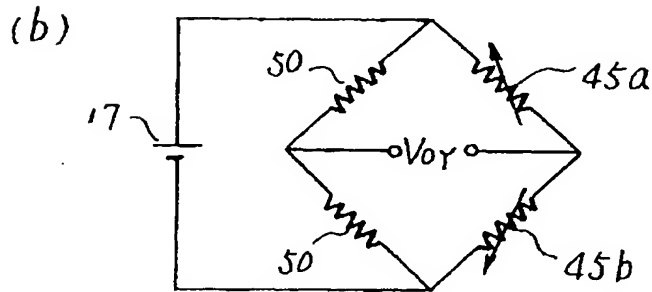
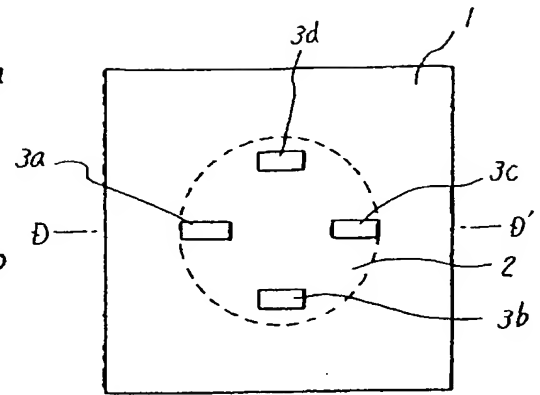
【第6図】



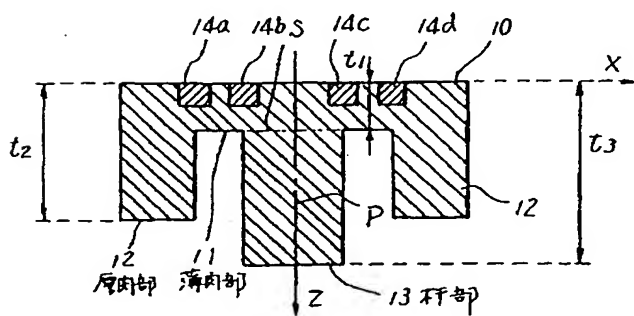
【第5図】



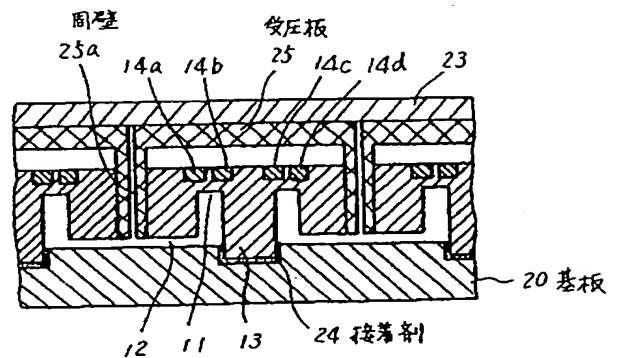
【第12図】



【第7図】



【第10図】



(a)

17  
電圧源

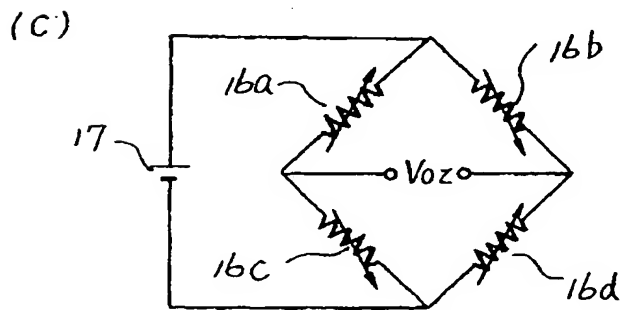
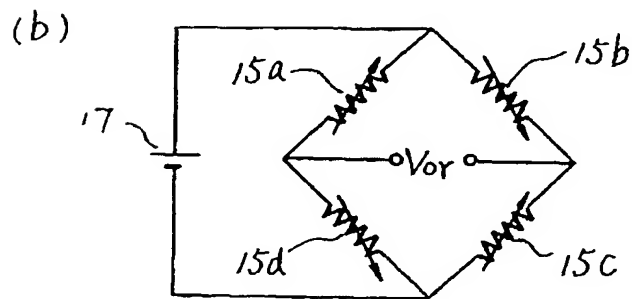
14a

14b

14c

14d

$V_{OX}$



【第 14 図】

